

QALLIUM VƏ İNDIUM MONOSELENİDLƏRİNDƏ FOTOKEÇİRİCİLİK VƏ ELEKTROLÜMINESSENSİYANIN BƏZİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

R.F. BABAYEVA

Bakı Dövlət Universiteti,
Z. Xəlilov 23, Az 1148, Bakı, Azərbaycan

İşdə müxtəlif lantanoidlərlə 10^{-5} – 10^{-1} at.% miqdarında aşqarlanmış qallium və indium monoselenidlərinin eyni nümunələrində elektrolüminessensiya və fotokeçiricilik hadisələri birgə tədqiq edilmişdir. Alınmış nəticələrin müqayisəli təhlili əsasında həmin hadisələrin bu materiallardakı bəzi xüsusiyyətlərinə aydınlıq gətirilmişdir.

Bərk cisimlərdə lüminessensiya və fotokeçiricilik hadisələri, prinsipə bir-birinə nəzərən əksinə istiqamətdə gedən proseslər olsalar da, eyni kristal matrisada, müxtəlif tipli həm nöqtəvi, həm də irimiqyaslı defektlərin mövcudluğu şəraitində baş verdiklərindən, onların ortaq məqamları da yox deyil. Ona görə lüminessensiya xassəsinə malik materiallarda lüminessensiya və fotoelektrik hadisələrinin müqayisəli tədqiqi ənənəvidir. Bu yanaşma, laylı $A^{III}B^{VI}$ kristallarının tədqiqində də nəzərdən qaçmamışdır.

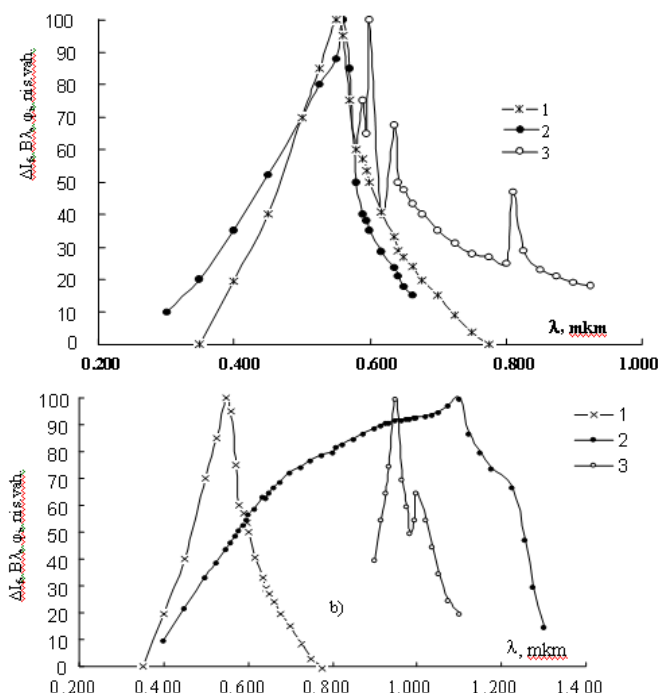
Təqdim olunan işdə təmiz (xüsusi olaraq aşqarlanmamış) və $N \leq 10^{-1}$ at. %-ə qədər müxtəlif səviyyədə lantanoid (Ld) atomları (Gd, Ho, Dy) ilə aşqarlanmış p -GaSe və n -InSe kristallarında elektrolüminessensiya ilə fotokeçiriciliyin müqayisəli tədqiqi aparılmış və alınmış nəticələrin keyfiyyətə izahı verilmişdir. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, məsələyə belə yanaşma nəinki lantanoidlərlə aşqarlanmış, eləcə də təmiz p -GaSe və n -InSe monokristallarında hər iki fiziki hadisənin bəzi yeni xüsusiyyətlərini aşkar etməyə, onların səbəbini aydınlaşdırmağa, bu materialın yeni tətbiqləri haqqında fikir söyləməyə də imkan verir.

Ölçmələrdə istifadə olunmuş təmiz və lantanoidlərlə aşqarlanmış p -GaSe və n -InSe monokristalları [1, 2]-də təsvir olunan texnologiya əsasında külçə boyunca sabit temperatur gradienti şəraitində asta soyutma üsulu ilə alınmışdır. Nümunələr $N=10^{-5}$; 10^{-4} ; 10^{-3} ; $5 \cdot 10^{-3}$; 10^{-2} ; 10^{-1} at.% Gd, Ho, Dy daxil edilmiş monokristal külçələrdən kəsilib hazırlanmışdır. Düzbucaqlı paralelepiped formasına malik nümunələrin kristalın «C» oxu istiqamətində qalınlığı $d \approx 100$ – 250 mkm, «C» müstəvisi üzərindəki eninə ölçüləri isə $2 \div 4 \times 3 \div 8$ mm² aralığında olmuşdur. Cərəyan kontaktları ya nümunələrin «C» müstəvisi üzərinə, ya da oturmaqlarına açıq havada metal indium lehimləməklə yaradılmışdır.

Ölçmələr 77–350K intervalında xarici gərginliyin (U) qiymətinin çeviricilik (U_{cev}) gərginliyindən [3, 4] kiçik qiymətlərində, sabit və sinusoidal dəyişən cərəyanla həyəcanlaşdırmaqla tərkibində MDR-12 monoxromatoru və elektron hesablama sistemi olan qurğuda aparılmışdır.

Hər iki qrup kristallardan hazırlanmış eyni bir nümunədə elektrolüminessensiyanın və fotokeçiriciliyin spektral paylanma ayrılırları (şəkil 1), elektrolüminessensiyanın parlaqlığının (B_λ), məxsusi fotokeçiriciliyin (i_f), mənfi fotokeçiriciliyin (Δi_f^-) və məxsusi fotokeçiriciliyin infraqırmızı sönməsinin (Δi_{fi}) temperaturdan (T) asılılıqları (şəkil 2) ölçülmüş, elektrolüminessensiya prosesinə, eləcə də onun əsas parametrləri və xarakteristikalarına müxtəlif udma oblastlarından (məxsusi və aşqar) olan monoxromatik işığın təsirinə baxılmışdır. Tədqiq olunan yarımkeçiricilərin optoelektronikada tətbiq

imkanlarını aşkar etmək üçün eyni nümunədə elektrolüminessensiyanın, fotokeçiriciliyin və görmə funksiyasının [5] spektrlərinin müqayisəsi də aparılmışdır (şəkil 1).



Şəkil 1. Görmə funksiyasının (1), Gd atomları daxil edilmiş p -GaSe (a) və Dy atomları daxil edilmiş n -InSe (b) kristallarında məxsusi fotokeçiriciliyin (2) və elektrolüminessensiyanın (3) spektrləri. $N=10^{-3}$ at.%; $T=77$ K; $I=10$ mA.

Alınmış təcrübə nəticələri təmiz və müxtəlif səviyyədə ayrı-ayrı lantanoid atomları ilə aşqarlanmış p -GaSe və n -InSe kristallarında elektrolüminessensiyanın gərginliyin $U \geq U_{\text{al}}$ qiymətlərində (burada U_{al} – elektrolüminessensiyanın alışma gərginliyidir və şüalanmanın maksimal intensivliyinin 0.1 hissəsinə bərabər olduğu sahəyə uyğundur) injeksiya olunmuş qeyri-əsas yükdaşıyıcıların qadağan olunmuş zona daxilindəki müəyyən rekombinasiya mərkəzləri vasitəsi ilə əsas yükdaşıyıcılarla rekombinasiyası hesabına baş verdiyini göstərir. Bu rekombinasiya prosesi elektrolüminessensiyanın spektrindəki əsas şüalanma zolağına uyğun gəlir və injeksiya olunmuş qeyri-əsas yükdaşıyıcıların uyğun zonadan ε -dərinlikli rekombinasiya mərkəzinə keçidi ilə təyin olunur. Həmin mərkəzlərdən digər zonaya keçidlə bağlı ikinci rekombinasiya prosesi isə şüalanmasız xarakter daşıyır. Şüalananan foto-

nun enerjisi və şüalanın işığın intensivliyi uyğun olaraq [5]:

$$h\nu_{\ell} = \varepsilon_g - \varepsilon_r, \quad (1)$$

$$I(h\nu) = C \cdot (h\nu - \varepsilon_g)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

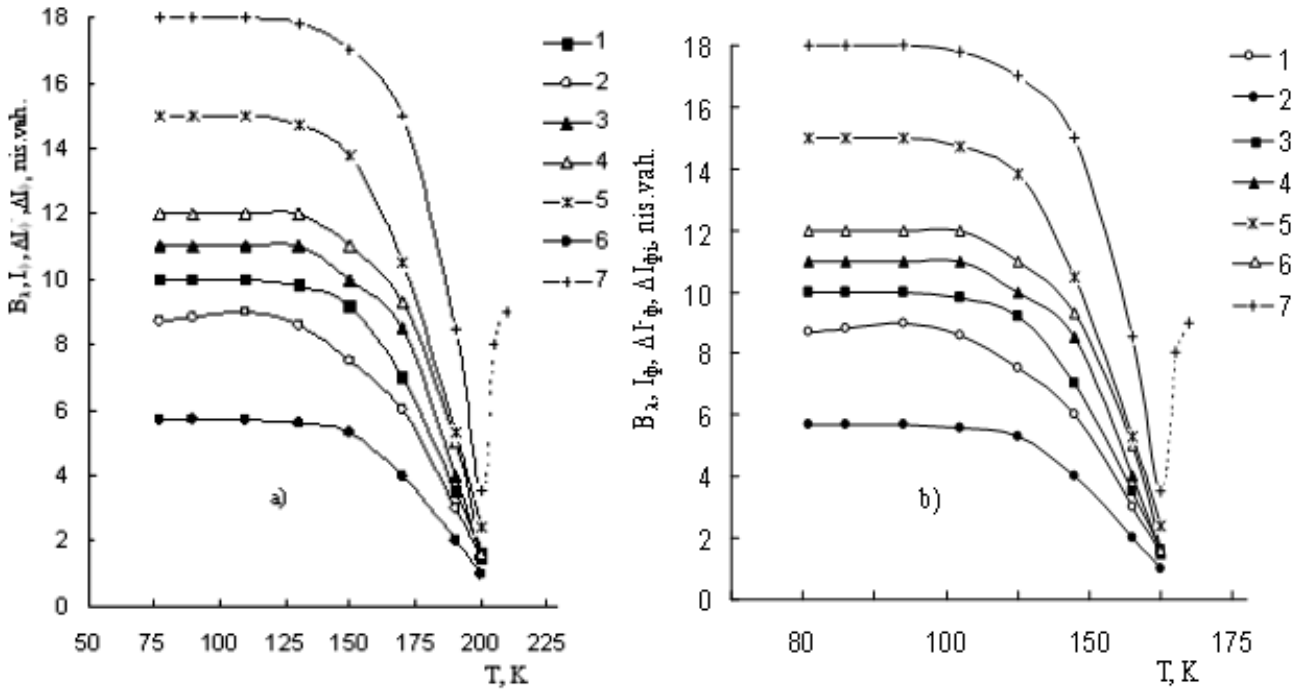
ifadələri ilə təyin olunur. Bu ifadələrdəki ε_g – tədqiq edilən yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının eni, C – isə sabitdir. Hər iki materialda elektrolüminessensiya şüalanmasının spektrinin qısa dalğa tərəfdən sərhədinin kəskin olması, eləcə də bu spektrin, $\alpha(h\nu)$ - optik udma və $I_{\phi}(h\nu)$ - fotokeçiriciliyin spektrləri ilə müqayisəsi həmin sərhədin məhz baxılan materialların ε_g - qadağan olunmuş zonasının eni ilə təyin olunduğunu deməyə imkan verir. Təcrübədə alınmış spektrlərin lantanoidlərlə aşqarlanma səviyyəsindən (N -dən) asılılığının tədqiqi elektrolüminessensiyanın əsas şüalanma zolağı ilə bağlı olan rekombinasiya mərkəzinin ε_r - enerji dərinli-

yinin və kristalın qadağan olunmuş zolağının ε_g eninin N -dən, eləcə də daxil edilən aşqarın kimyəvi təbiətindən asılı olmadığını göstərir.

Lakin bu spektrlərin müqayisəsi elektrolüminessensiya şüalanmasının spektrində (xüsusi ilə də p -GaSe<Ld> kristallarında) eksiton şüalanması ilə bağlı zolaqların mövcudluğunu və [5]

$$h\nu_{\ell e} \approx \varepsilon_g \pm \varepsilon_{ex} \approx \varepsilon_g \pm \frac{\varepsilon_{ex}^0}{n^2} \quad (3)$$

münasibətinin reallaşdığını da istisna etmir. (3) ifadəsində $h\nu_{\ell e}$ - eksiton anniqilliyası ilə bağlı olan elektrolüminessensiya şüalanma fotonun enerjisi, ε_{ex} - eksitonun rabitə enerjisi, ε_{ex}^0 - eksitonun əsas halının ($n=1$) enerjisi, n - isə eksiton səviyyələrinin sıra nömrəsidir.



Şəkil 2. Gd atomları daxil edilmiş p -GaSe (a) və Dy atomları daxil edilmiş n -InSe (b) kristallarında elektrolüminessensiyanın (1-4), məxsusi fotokeçiriciliyin infraqırmızı sönməsinin (5), mənfı fotokeçiriciliyin (6) və məxsusi fotokeçiriciliyin (7) temperatur asılılığı. N , at.%. 1 - 0; 2 - 10^{-5} ; 3, 5-7 - 10^{-3} ; 4 - 10^{-1} . $\lambda_s = \lambda_{sm}$; $\lambda_a = \lambda_{amax}$; $\Phi_s = \Phi_{smax}$; $\Phi_a = \Phi_{amax}$.

Təcrübədə alınmış $B_{\lambda}(T)$ qrafiklərinin məxsusi fotokeçiriciliyin (i_f), mənfı fotokeçiriciliyin (Δi_f^-) və məxsusi fotokeçiriciliyin infraqırmızı sönməsinin (Δi_f) temperatur asılılığı ilə müqayisəsi (şəkil 2) göstərir ki, həm bu asılılıqların müşahidə olunduğu temperatur intervalı və asılılığın gedişi kifayət qədər dəqiqliklə üst-üstə düşür. Digər tərəfdən, bu asılılıqların hamısı təqribən eksponensial qanuna tabedir. Elektrolüminessensiyanın parlaqlığı nümunələrin aşqarlanma səviyyəsindən asılı olaraq, aşağı ($T \leq 100-110$ K) temperaturlarda ya temperaturdan asılı deyil, ya da temperatur yüksəldikcə, əvvəlcə, 77K-dəkinə nisbətən bir qədər ($\sim 10-15$ %) artır, sonra isə təqribən [5]:

$$B_{\lambda} = B_{\lambda 0} e^{-\frac{\Delta \varepsilon_{\lambda}}{kT}} \quad (4)$$

ifadəsinə uyğun gedişlə azalır. Burada B_{λ} və $B_{\lambda 0}$ - lüminessensiya şüalanmasının uyğun olaraq temperaturun hər bir baxılan T - qiymətindəki və 77K-dəki parlaqlığı, $\Delta \varepsilon_{\lambda}$ - isə şüalanmanın aktivləşmə enerjisidir. Təcrübədə eyni nümunələrdə məxsusi fotokeçiriciliyin IQ (infraqırmızı) sönməsinin və mənfı fotokeçiriciliyin bağlı olduqları rekombinasiya mərkəzlərinin həmin effektlərin spektrlərindən təyin olunan ε_r enerji dərinliyi və elektrolüminessensiyanın $\Delta \varepsilon_{\lambda}$ aktivləşmə enerjisi, demək olar ki, bir-birinə bərabərdir ($\varepsilon_r \approx \Delta \varepsilon_{\lambda}$). Digər tərəfdən, aparılan müqayisələr göstərir ki, N -dəyişdikdə, ε_r və

$\Delta\epsilon_{\lambda}$, demək olar ki, sabit (dəyişməz) qalır. Təcrübi nəticələr əsasında qiymətləndirmələr p -GaSe<Ld> və n -InSe<Ld> kristallarında uyğun olaraq $\epsilon_r \approx \Delta\epsilon_{\lambda} \approx \epsilon_c - (0.55 \pm 0.60) \text{ eV}$ və $\epsilon_r \approx \Delta\epsilon_{\lambda} \approx \epsilon_v + (0.44 \pm 0.45) \text{ eV}$ olduğunu göstərir. Fotokeçiriciliyin tədqiqindən alınmış nəticələrə əsasən N -in müxtəlif qiymətlərində hər iki materialda bu rekombinasiya mərkəzlərinin qeyri-əsas (γ_q) və əsas (γ_s) yükdaşıyıcıları tutma kəsikləri təyin edilmişdir. Müəyyənləşdirilmişdir ki, p -GaSe<Ld> və n -InSe<Ld>-də müxtəlif nümunələr üçün uyğun olaraq $\gamma_q \approx 10^{-14} \div 5 \cdot 10^{-14} \text{ sm}^2$, $\gamma_s \approx 10^{-20} \div 10^{-19} \text{ sm}^2$ və $\gamma_q \approx 10^{-15} \div 10^{-14} \text{ sm}^2$, $\gamma_s \approx 10^{-20} \div 10^{-19} \text{ sm}^2$. Buradan görünür ki, hər iki qrup kristallar üçün $\gamma_q \gg \gamma_s$. Digər tərəfdən, aparılan tədqiqatlar nəticəsində müəyyənləşdirilmişdir ki, həm elektrolüminessensiyanın, həm də müxtəlif fotokeçiricilik hadisələrinin temperatur sönməsinin baş verdiyi temperatur ($T_{\text{GaSe}} \approx 200 \text{ K}$ və $T_{\text{InSe}} \approx 160 \text{ K}$), həmin kristallarda termostimullaşdırılmış keçiriciliyin maksimumlarının müşahidə olunduğu və induksiyanmış aşqar fotokeçiriciliklərin sönməsinin baş verdiyi temperaturlardan əhəmiyyətli dərəcədə (p -GaSe<Ld> və n -InSe<Ld> kristalları üçün uyğun olaraq $T \approx 100 \text{ K}$ və $T \approx 80 \text{ K}$) yüksəkdir.

Bu ölçmələrin nəticələrinə əsasən elektrolüminessensiyanın və fotokeçiricilik hadisələrinin temperatur sönmələrinin birbaşa bağlı olduğu rekombinasiya mərkəzlərinin sıxlığı (N_r) da qiymətləndirilmişdir. Müəyyənləşdirilmişdir ki, ölçmələrin aparıldığı şəraitdə lantanoidlərlə müxtəlif səviyyədə aşqarlanmış p -GaSe<Ld> və n -InSe<Ld> kristalları üçün N_r uyğun olaraq $5 \cdot 10^{13} \div 10^{14} \text{ sm}^{-3}$ və $5 \cdot 10^{14} \div 10^{15} \text{ sm}^{-3}$ tərtibində olub, aşqarlanma səviyyəsindən asılı olaraq, müəyyən qanunauyğunluğa ciddi şəkildə tabe olmasa da, hər halda dəyişir.

Bu müqayisələrdə kvazibircins yarımkəçirici materiallar üçün işlənmiş və əksər hallarda özünü doğruldan nəzəri müddəalar çərçivəsindən kənara çıxan, eləcə də baş verməsi gözlənilən uzlaşmaların müşahidə edilməməsi, çox güman ki, tədqiq olunan kristalların qismən nizamsızlığından irəli gəlir.

Aşkar edilmişdir ki, $N \approx 10^{-1} \text{ at.}\%$ olduqda p -GaSe<Ld> və n -InSe<Ld>-də alınmış nəticələr alçaqomlu təmiz kristallardakına daha çox uyğun gəlir. Bu zaman kvazibircins yarımkəçiricilərdə elektrolüminessensiya və fotoelektrik hadisələri üçün olan qanunauyğunluqlar da daha yaxşı ödənilir.

- [1] R.F. Mexdiyev, Q.B. Abdullayev, Q.A. Axundov. DAN Az. SSR, 1962, t.18, №6, s.11. (Rusca)
- [2] A.M. Guseynov, T.İ. Sadıxov. V. Sb. «Elektrofiziceskiye svoystva poluprovodnikov i plazmi qazovofo razryada». Baku. AGU. 1989, s.42. (Rusca).
- [3] A.Ş. Abidinov, R.F. Babayeva, R.M. Rzayev, A.T. Bagirova, Ş.A. Allaxverdiyev. İzv. NAN Azerbaycana, Ba-

- ku, 2006, t.XXVI, № 5, s. 70. (Rusca).
- [4] A.Ş. Abidinov, R.F. Babayeva, A.T. Bagirova, R.M. Rzayev, Q.X. Eyvazova. J. «Neorqanicheskiye materialy». 2006, t.42, №9, s.1035. (Rusca).
- [5] S.İ. Vavilov. Qlaz i solntse. M. «Nauka», 1981, 126 s. (Rusca).

R.Ф. БАБАЕВА

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОТОПРОВОДИМОСТИ И ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МОНОСЕЛЕНИДАХ ГАЛЛИЯ И ИНДИЯ

В работе проводились совместные исследования электролюминесценции и фотопроводимости в моноселенидах галлия и индия, легированных различными лантаноидами при $10^{-5} \div 10^{-1} \text{ ат.}\%$. На основе сравнительного анализа полученных результатов выяснены некоторые специфические особенности этих явлений в указанных материалах.

R.F. BABAEVA

ANY PECULIARITIES OF PHOTOCONDUCTIVITY AND ELECTROLUMINESCENCE IN MONOSELENIDES OF QALLIUM AND INDIUM

In this work combined investigations of electroluminescence and photoconductivity in monoselenides of indium and gallium wich doped by different lanthanoids at $10^{-5} \div 10^{-1} \text{ at.}\%$ have been passed. On the basis of comparative analysis of obtained results some specifical particularities this phenomena in mentioned materials were explained.

Received: 10.12.08